

## **Un minero en la Sierra Gorda: caso de contaminación ocupacional multielemental de metales pesados a finales del periodo Clásico**

*Resumen:* Uno de los temas de la investigación arqueológica en la porción sur la Sierra Gorda ha sido la minería prehispánica desde una perspectiva inter- y multidisciplinaria; los proyectos dirigidos al respecto en esa zona por los autores de estas líneas se centran en las minas en Toluquilla y Ranas, los mayores asentamientos a escala regional, ubicados a 150 km al noreste de la capital del estado y emplazados en uno de los yacimientos de cinabrio y mercurio más abundantes del país. Este recurso no pasó inadvertido y fue objeto de control, explotación e intercambio con otras regiones del México antiguo desde etapas tempranas. En el país, el estudio sistemático de la minería prehispánica de cinabrio sólo se ha realizado en la Sierra Gorda por los que suscriben y aquí se expone un caso relativo a cómo la extracción de minerales afecta a la población en sus condiciones de salud. Se concluye que, en los estudios bioarqueológicos sucesivos sobre casos que involucren el uso y manejo de minerales metálicos es importante determinar el grado de contaminación para evaluar las condiciones de salud de la población.

*Palabras clave:* Sierra Gorda, metales pesados, bioacumulación, mercurio, cinabrio, plomo.

*Abstract:* One of the topics of archaeological investigation in the southern portion of the Sierra Gorda has been pre-Hispanic mining from an inter- and multi-disciplinary perspective, where projects directed by the authors, “Toluquilla” and “Ranas and Their Mines,” focus on the largest settlements on a regional scale. Both settlements are 150 km northeast of the state’s capital in the area of one of the country’s richest cinnabar and mercury deposits. This resource did not go unnoticed in ancient times since it was controlled, exploited, and exchanged with other regions of ancient Mexico from early times. In Mexico the systematic study of pre-Hispanic cinnabar mining has only been carried out at the Sierra Gorda of Querétaro by our projects and here we present a case for how mineral extraction affected the population’s health. It concludes that in successive bioarchaeological studies in cases involving the use and management of metallic minerals it is important to determine the degree of contamination to evaluate the health conditions of the population.

*Keywords:* Sierra Gorda, heavy metals, bioaccumulation, mercury, cinnabar, lead.

El estudio de la presencia de metales pesados en huesos humanos procedentes de los enterramientos de Ranas y Toluquilla surge de la necesidad de probar que los habitantes de la Sierra Gorda eran mineros del cinabrio. En este sentido se ha avanzado por muchos años y ya se han publicado artículos donde se plasman los resultados de los trabajos desde la escala regional hasta los estudios de caso (Mejía y Herrera, 2006; Herrera y Mejía, 2009; Mejía, 2010; Herrera, 2012; Mejía y Herrera, 2013 y 2014).

En el texto “Ranas, Toluquilla y el mercurio” se expone el primer intento de entender a escala regional la distribución del mercurio en el ambiente y sus pri-

\* Centro INAH Querétaro.

meras correlaciones con los distintos asentamientos antiguos en la porción sur de la Sierra Gorda. Se integran equipos de trabajo y metodologías específicas para determinar el mercurio total en suelos, sedimentos y huesos para evaluar el impacto de la minería antigua y moderna en el ambiente (Herrera y Mejía, 2009).

En su tesis de doctorado, *Toluquilla, ciudad entre nubes, ancestros y ofrendas*, Elizabeth Mejía (2010) reúne el avance de investigación de la zona arqueológica y explica el paisaje, los lugares de asentamiento vecinos, la traza urbana del sitio, así como los sistemas constructivos, estudios geofísicos y geoquímicos para determinar áreas de actividad, la exploración sistemática de 20 edificios y la cronología, hasta los resultados del estudio de más de 27 enterramientos que arrojan la información relacionada con la osamenta de más de 200 individuos. Algunos de ellos han sido objeto de estudios antropofísicos, estudios genéticos y de metales pesados.

En un primer avance, Herrera (2012) señaló que la minería antigua es un tema poco explorado en la arqueología mexicana, por lo que durante muchos años se asumió que buena parte de las materias primas para elaborar los objetos encontrados en las exploraciones o los museos eran de procedencia local. Su trabajo aportó nueva información sobre los yacimientos del sulfuro rojo de mercurio (HgS) o cinabrio y puso énfasis en que ese mineral no se encuentra en todos lados; Herrera explora uno de los yacimientos de mercurio más abundante en México y encuentra un continuo de explotación humana durante más de 2000 años mediante una tecnología conservada desde tiempos remotos.

Mejía y Herrera (2013) presentan los fundamentos esenciales de la mineralogía de los metales pesados. Si bien nuestra investigación inició con el mercurio, con el tiempo se añadieron otros metales localizados al sur de la Sierra Gorda, en la zona de El Bajío mexicano. Desde la década de 1960 ese lugar es conocido por la presencia de minas de cinabrio que datan de la época prehispánica. Su uso se remonta a los grandes asentamientos en el área maya y en Teotihuacán, para luego centrarse en la Sierra Gorda, donde desde hace 20 años se han desarrollado diversas inves-

tigaciones sobre la presencia de esos yacimientos, la localización de sitios dedicados a la extracción del mercurio y el proceso para obtener cinabrio. Tales actividades con metales pesados provocaron la contaminación del medio ambiente y de los sitios arqueológicos, con evidentes consecuencias sobre los habitantes que trabajaban en las minas.

En 2014 se publicó un artículo de dos antropólogos físicos del INAH: Josefina Mansilla y Carmen Pijoan, en colaboración con los investigadores universitarios Alfonso Ávila y Pedro Bosch, ambos especialistas en técnicas analíticas por fluorescencia de rayos X (XRF, por sus siglas en inglés) y microscopía electrónica con microsonda de energía dispersiva (EDS-ME, por sus siglas en inglés). En esa investigación se analizan dientes y huesos impregnados de pigmentos rojos bajo la perspectiva de una costumbre funeraria multicultural o panmesoamericana. En ellos se identifica el cinabrio y el óxido de hierro en huesos unguados de pigmento. En ese mismo análisis reportaron la interacción entre iones de Hg y la hidroxiapatita,<sup>1</sup> que constituye los huesos y dientes, para reconocer si existe la diagénesis, migración o difusión de los iones de Hg del pigmento a las estructuras de hidroxiapatita que conforman al hueso. Por tanto, mediante el estudio se buscó diferenciar a los individuos expuestos al pigmento de manera *post mortem* de quienes se vieron afectados por el Hg en vida debido a su actividad minera, por la cual inhalaban e ingirieron vapores de mercurio, e incluso comida contaminada con compuestos derivados de ese elemento (Ávila *et al.*, 2014).

En la selección de las muestras había restos humanos procedentes de Tlatelolco (*ca.* 1337-1521 d.C.), la isla de Jaina en la zona maya, con ocupación entre 300 y 900 d.C., y Monte Albán, con una temporalidad que va de 2000 a.C. a 200 d.C.; en todos los casos, los individuos fueron expuestos al pigmento de mercurio de manera *post mortem*, al margen de la época y cultura (fig. 1). Por otro lado, los restos óseos procedentes de la Zona Arqueológica Ranas estuvieron expuestos *in vita*

<sup>1</sup> La hidroxiapatita (HAP) es un biocristal, formado por átomos de calcio, fósforo e hidrógeno, de acuerdo con la fórmula  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . Su presencia en dientes y huesos les confiere su dureza característica.

<i>Muestra</i>	<i>Origen</i>	<i>Periodo / cultura</i>	<i>Archivo INAH</i>	<i>Descripción</i>
J-molar	Jaina (Yucatán)	Clásico maya	Camp. 1973, entierro 29	Molar
T-molar	Tlatelolco (Ciudad de México)	Posclásico mexicana	Entierro 14 aislado	Molar
MA-cráneo	Monte Albán (Oaxaca)	Preclásico zapoteca	Temp. VII-Tumba A	Cráneo, fragmento
R-incisivo	Ranas (Querétaro)	Serrana	Plat. Superior; Entierro múltiple, entre fogón y roca	Diente incisivo
R-muestra hueso R1	Ranas (Querétaro)	Serrana	Ranas 3. 1985	Tibia, fragmento
R-muestra hueso R2	Ranas (Querétaro)	Serrana	Ranas 1, 1976	Fíbula, fragmento
R-muestra hueso R3	Ranas (Querétaro)	Serrana	Ranas 1. 1976	Fémur, fragmento
R-muestra hueso R4	Ranas (Querétaro)	Serrana	Ranas 2, 1984	Húmero, fragmento

● Fig. 1 Muestras analizadas en el estudio; se indica origen y cultura (tomado de Ávila *et al.*, 2014).

al cinabrio, ya que se trata de una región donde ese pigmento era extraído del subsuelo, lo cual es uno de los rasgos característicos de la cultura de la Sierra Gorda (Langenscheidt, 2006; Mejía y Herrera, 2006).

En sus resultados y conclusiones, Ávila *et al.* (2014) refieren la gran estabilidad química del cinabrio (HgS) y mercurio (Hg), su resistencia a los procesos diagenéticos y resiliencia en el medio ambiente, con lo cual aumenta la biodisponibilidad para su incorporación en las cadenas tróficas y bioacumulación, equiparables con lo propuesto en años anteriores por quienes suscriben el presente trabajo.

Concluyen que la presencia del pigmento en contextos funerarios se debe a una práctica cultural, mientras la medición de valores de Hg en hueso puede ser por contaminación, ya sea de carácter ocupacional o por bioacumulación.

En el texto de Mejía y Herrera (2014) se muestra una síntesis de avances y se enuncian nuevas líneas de trabajo; además, el estudio de la sociedad antigua en función de una economía especializada orientada a la minería del cinabrio en la época prehispánica condujo a plantear la pregunta de cómo es que los habitantes antiguos reconocieron, se apropiaron y usaron este paisaje. En consecuencia, los registros de cómo se distribuyeron los asentamientos y las minas antiguas al sur de la Sierra Gorda se volvieron muy relevantes.

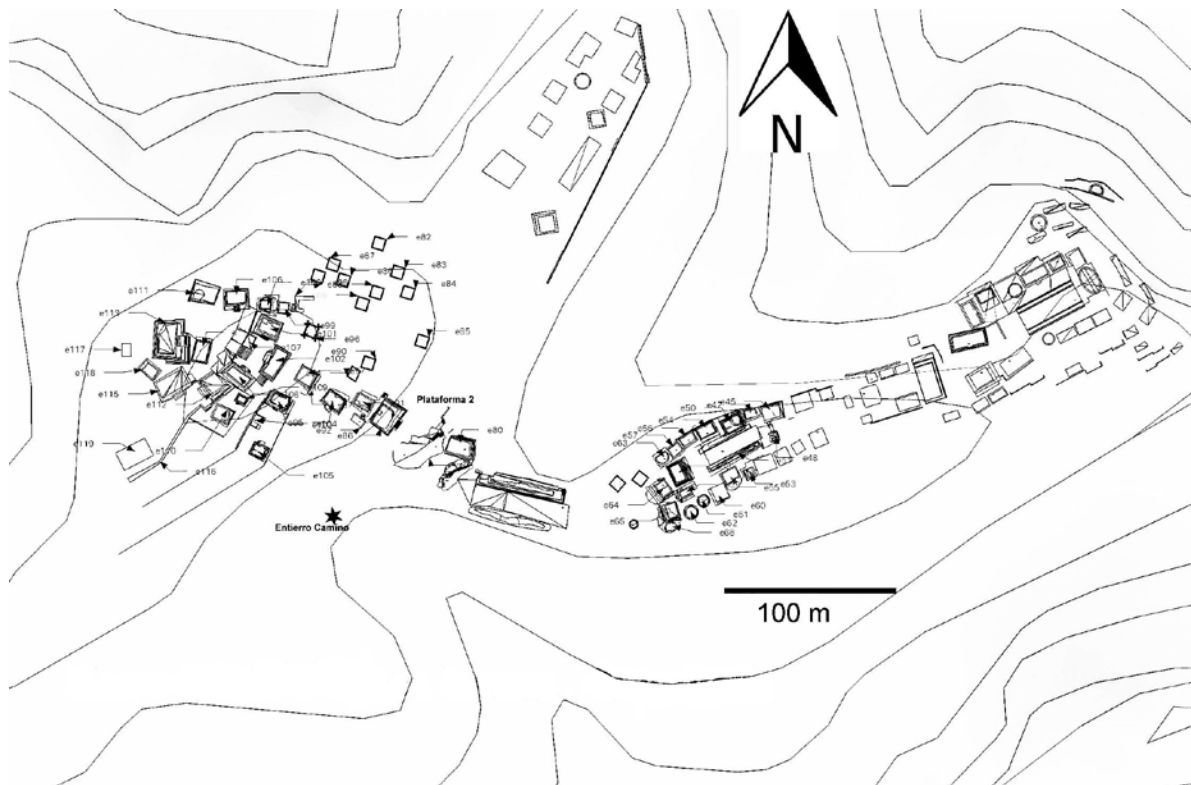
Hoy en día sabemos que el mercurio metálico, el sulfuro de mercurio y otros compuestos relacionados, entre ellos el arsénico (As), son peligrosos

para el medio ambiente y pueden ser persistentes en el tiempo. En consecuencia, nos interesaba saber de qué manera esta especialización económica afectó el ambiente y a sus habitantes, tanto en el pasado como en tiempos modernos.

En un artículo de Mejía, Mejía y Herrera (2015), intitulado “Mercurialism Determination in Fetuses Bone Remains from Toluquilla, Querétaro, Mexico”, se exponen casos —raros en la arqueología mesoamericana— relacionados con el hallazgo de siete fetos en contextos funerarios; de éstos, cuatro son muy relevantes para estudios médicos desde el punto de vista de la toxicología y la bioacumulación, en la medida en que permiten inferir las condiciones de salud de la madre y el feto. Así mismo, se refiere que la actividad minera antigua fue tan intensa y extensa en la porción sur de la Sierra Gorda que contaminó su ambiente, lo cual afectó la salud de sus pobladores por su especialización económica. Se rompe la concepción occidental de la contaminación de metales pesados por la minería sólo está ligada al sexo masculino y de la edad productiva a través la bioacumulación del mercurio en sus cuerpos.

## El caso de Ranas

A raíz del impacto del huracán *Gilberto*, en 1988, en la Sierra Gorda —en particular en Ranas— se produjeron varios deslaves; una de las consecuencias del meteoro fue haber dejado expuesto parte de un enterramiento, cuya posterior exploración



● Fig. 2. Plano del levantamiento arquitectónico de la zona arqueológica Ranas, en el cual se muestran los principales monumentos. La estrella indica la ubicación del Entierro 4, referido en este trabajo.



● Fig. 3. Proceso de excavación y delimitación de contexto en el deslave.

permitió determinar que formaba parte de una estructura circular cubierta por más de 1.3 m de sedimento, mismo que podría corresponder a una primera etapa del sitio (figs. 2, 3 y 4).

Dado que se trataba de un trabajo de mantenimiento urgente, sólo se buscó delimitar el lugar del enterramiento. De acuerdo con el registro de



● Fig. 4. Excavación del individuo 3. La superficie donde se ubica la tabla de notas y aluminio corresponde al apisonado de la estructura circular.

los trabajos realizados en el Proyecto Ranas y sus minas, a ese enterramiento correspondió el número 4 en la secuencia, por ello el registro y etiquetas del material consignan: Nombre del proyecto, Entierro 4, Camino, capa en la secuencia estrati-

gráfica, la unidad de excavación, secuencia del individuo (1, 2, etcétera) y la fecha.

La estratigrafía del lugar indicaba que era una estructura sepultada por gran cantidad de sedimento de arrastre de la porción superior del sitio, compuesto de arcilla amarilla muy plástica revuelta con gravilla de calcita y laminillas de lutita. También se observó una cantidad moderada de material cultural, sobre todo cerámica y lítica, pero sin mantener un arreglo en particular. En la secuencia se observó una capa de 15 cm de espesor correspondiente al derrumbe de las paredes; éstas, quizá, hayan sido de material perecedero, porque la matriz cambió: la arcilla dejó de contener gravilla y en algunas porciones tenía moronas o terrones con trazas de haber sido expuestas al fuego, lo cual constituía una práctica común para endurecer e impermeabilizar el bajareque. Al delimitar su extensión se observó que había un perímetro semicircular de lajas de caliza que conformaban un cimientado compuesto por dos hileras paralelas de sillares rústicos, con una separación de 10 cm en promedio.

La tercera capa interior del semicírculo fue un apisonado de arcilla rojiza mezclada con gravilla de caliza y ocasionales fragmentos de calcita de formas subprismáticas y con aristas angulares. Se trata de una mezcla característica en otras construcciones del sitio como firme de pisos, aunque en ningún momento se observaron trazas de estuco. Al delimitarla se observó una intrusión de trazo general rectangular con esquinas redondeadas de 1.3 x 0.7 m, a la cual se le denominó capa 4.

La capa 4 es un sedimento de textura media, con gran abundancia de gravilla y arena de color amarillo-crema, cuya matriz era muy fina, compacta y de poca plasticidad. Su excavación era difícil, dado que su compactación y dureza requirió el uso de picoleta. Se observó que esta intrusión contuvo el enterramiento de tres individuos, dos secundarios dispuestos a los costados de un individuo primario. Destaca el hecho de que los huesos largos y fragmentos de cráneo de los individuos secundarios conservaban trazas de un pigmento rojo. Al tomar una muestra del pigmento se observó que era una mezcla de cinabrio y óxidos de hierro; mediante una prueba de decanta-



Fig. 5 Reconstrucción del enterramiento en el contexto de la estructura circular. Los valores junto a las líneas verticales indican la profundidad relativa de los individuos de acuerdo con el banco de nivel georreferenciado en sistema WGS84 con las siguientes coordenadas UTM en zona 14 (441,208 E -2314024 N, a una elevación de 2390 msnm).

ción por gravimetría resultó mayor la proporción del sulfuro rojo de mercurio (HgS).

El individuo primario fue un entierro directo y corresponde a un adulto masculino de más de 35 años. Se le encontró depositado en decúbito dorsal, con el tronco ligeramente flexionado hacia arriba. Los brazos estaban dispuestos al frente y las muñecas se tocaban. Las manos estaban sobre la región pélvica y en la derecha sujetaba una pipa de cerámica. En la zona de la sínfisis púbica se encontraron dos círculos de hueso que formaban un cono truncado. De acuerdo con algunas ilustraciones y las descripciones de fuentes, puede ser un instrumento para enemas (figs. 5 y 6).

La cronología relativa de los materiales excavados y de los directamente asociados al contexto del enterramiento 4 permite establecer una temporalidad entre 450 y 700 d.C., y en términos de la periodicidad mesoamericana corresponde a la transición entre los periodos Clásico y el Epiclásico.

## Osteobiografía

Desde el punto de vista osteobiográfico, se siguen los criterios aplicados a los restos óseos de Toluquilla (Mejía, 2010; Mejía y Herrera, 2014), los



Fig. 6 Pipa de cerámica encontrada entre las manos del cuerpo (arriba). Cilindros en hueso de venado para sujetar bolsa de piel o vejiga para enemas encontrada en la porción posterior del área pélvica (abajo).

Individuo	Sexo	Edad	Estado de conservación y porcentaje óseo recuperado
1	M	35-X	Bueno 78% Primario
2	F	25-X	Malo 35% Secundario
3	M	45-55	Regular 50% Secundario

Fig. 7 Registro del número de individuos en el contexto de enterramiento que correspondió con el registro inicial en campo.

Núm. Ind.	Sexo	Edad	Caries	Sarro	Abscesos apicales	Reabsorción ósea	Reabsorción alveolar	Atrición
1	M	35-X	2	2	2	2	2	3
2	F	25-X	0	1	1	1	0	0
3	M	45-55	0	2	0	3	3	3

Fig. 8 Concentración de información de patología dental (los números son un registro del grado de la alteración 0 = inexistente; 3 = muy severa).

cuales se describen a continuación. El análisis osteológico fue realizado por el antropólogo físico Israel Lara Barajas (2007), quien entregó un informe técnico de los materiales y sólo una interpretación parcial, en tanto no consideró la totalidad de la información del contexto; en con-

secuencia, aquí se exponen exclusivamente los puntos más relevantes de su análisis para el tema que nos ocupa.

Determinación de número de individuos en el contexto, edad, sexo y estado de conservación. En estos casos no había elementos suficientes para estimar su estatura. En el contexto se registran tres individuos. El número 1 fue primario, mientras los individuos 2 y 3 se registraron como secundarios —y así lo demuestran las porciones recuperadas.

En relación con las patologías, éstas se describen en función de si son craneales, dentales o poscraneales. En relación con la cribra orbitalia y la hiperostosis porótica, los sujetos de Ranas presentan ambas afecciones; pudo observarse que los primeros dos individuos fueron afectados por ambos procesos patológicos en una modalidad ligera; sin embargo, el individuo 3 presenta una mayor afección por cribra e hiperostosis; se trata de un individuo de mayor edad, lo cual puede estar relacionado con una mayor afección de procesos infecciosos y deficiencias nutricionales en sujetos de este grupo de edad, siendo ellos y los infantes los más susceptibles a factores externos.

La patología dental encontrada en el estudio antropofísico realizado por Israel Lara (2007) se puede resumir el cuadro de la figura 8; sin embargo, en su reporte no refiere la cantidad ni cuáles son las piezas afectadas.

El individuo con mayor edad es el que presenta procesos patológicos más severos, asociados a la alta ingesta de proteínas animales y carbohidratos,

así como a la falta de higiene bucal, lo cual propicia la formación de cálculos dentales y la enfermedad periodontal. También se encontró atrición severa (3), sobre todo en los molares, lo cual implica que en la dieta debieron estar incluidos elementos duros. En el contexto de la arqueología y

la antropología física mesoamericana, sobre todo en el proceso de preparación de masas de maíz y salsas, al moler los ingredientes se llevan consigo partículas abrasivas derivadas de los materiales con que se elaboraban los morteros o metates usados en la molienda. Se trata de pequeñas partículas de piedra desprendidas por el roce de la mano del metate con la superficie del utensilio, y al ingerir y masticar el alimento dichas partículas desgastaban en mayor grado las piezas dentales (Lara, 2007).

En cuanto a enfermedades localizadas en el esqueleto poscranial, los individuos de Ranas no presentan afecciones graves; de hecho, las condiciones de salud observadas en dos de los tres individuos son en apariencia buenas; sin embargo, en el tercero se encontró periostitis en grado moderado, sobre todo en las extremidades inferiores. También se encontró una afección moderada en las vértebras, manifestándose en forma de excrecencias óseas en los cuerpos, procesos y facetas articulares de las vértebras lumbares y dorsales. Este tipo de afección se denomina osteofitosis vertebral y se encuentra asociada a personas con una gran actividad de carga; se puede decir que se trata de un proceso degenerativo que se presenta sobre todo en hombres mayores a 30 años, siendo más severa la alteración conforme pasa el tiempo. Uno de los individuos mostraba un proceso infeccioso en la nariz, por lo cual se presentó una reacción ósea en los huesos de esa zona, donde se observa cierto engrosamiento y rugosidad del hueso (Lara, 2007: 88).

## Entesopatías

Los esqueletos analizados presentan un patrón de marcas de alteración física específica; de hecho, aun cuando la muestra es mínima se observa una diferencia entre el tipo de marcas por estrés ocupacional encontradas en los hombres con respecto a las observadas en mujeres. Estas diferencias en el grado y ubicación de dichas marcas de actividad dependen de la tarea realizada, por lo cual nos aporta un poco de información sobre la diferenciación sexual y la división del trabajo de acuerdo con el sexo.

Individuo	Sexo	Edad	Inserciones musculares						Vértabras
			Húmero	Cúbito	Radio	Fémur	Rótula	Tibia	
1	M	35-X	1	1	1	1	1	1	123
2	F	25-X	0	0	0	0	0	0	2
3	M	45-55	0	0	0	0	0	0	0

● Fig. 9 Entesopatías detectadas por individuo. Los valores son una forma de registro por grados de modificación ósea, que va desde cero (0), ausencia, hasta tres (3), que significa marca severa de la entesopatía de acuerdo con la clasificación de Lagunas y Hernández (2000: 59).

En la figura 9 se observa que el individuo 1 presenta todas las alteraciones reportadas, lo cual se debe a la existencia de la mayor parte del esqueleto, mientras en los otros casos sólo se encuentra el cráneo y algunas vértebras. Sin embargo, las marcas indican que ese individuo presentaba una hiperactividad en la mayor parte de los músculos y por ello las marcas permanecieron en la mayoría de los huesos largos. Esto nos habla de que el individuo realizó la misma actividad durante mucho tiempo y que ésta demandaba esfuerzo, lo que a largo plazo ocasionó este tipo de inserciones musculares muy marcadas. Además presenta algunas alteraciones en la rótula, indicativas de que el individuo permanecía mucho tiempo en cuclillas o bien con las piernas flexionadas, soportando el peso constante del cuerpo. En este esqueleto se puede observar también una exostosis en el radio derecho, justo donde se encuentra la inserción del músculo pronador, el cual participa en el movimiento del antebrazo; estos movimientos se pueden asociar a la actividad minera, la cual se realizaba estando en cuclillas y golpeando constantemente para la extracción de los minerales (Lara, 2007: 92).

Las exostosis presentes en los calcáneos son alteraciones relacionados con largas caminatas y el constante paso por zonas donde la geografía es accidentada —y qué más accidentada que la geografía de Ranas, correspondiente a una orografía de montaña—. Por último, se puede decir que el individuo 1 presenta nódulos de Schmorll en vértebras porque debía estar cargando cosas pesadas

Individuo	Sexo	Edad	Exostosis		
			Radio	Rótula	Calcáneo
1	M	35-X	1	1	3
2	F	25-X	2	0	0
3	M	45-55	0	0	0

○ Fig. 10 Determinación de excrescencias óseas por segmento corporal (los valores registrados van de 0 = ausencia a 3 = severa).

de manera constante, como sería el caso de los minerales extraídos de la mina, llevarlos a superficie y luego trasladarlos a cierta distancia. En el caso del individuo femenino, la actividad no debió haber diferido mucho en relación con el transporte de cargas —leña, semillas, minerales, etcétera— a lo largo de extenuantes y accidentadas distancias (Lara, 2007: 93).

## Determinación de metales pesados

Para determinar el nivel de metales pesados se analizaron tres muestras del individuo 1 (fragmento cráneo, fémur y diente: molar) mediante las técnicas de espectrómetro por aceleración de masas con acoplamiento de inducción de plasma (ICP-MS, por sus siglas en inglés), espectrometría de emisión atómica con acoplamiento de inducción de plasma (ICP-AES, por sus siglas en inglés)<sup>2</sup> y espectrometría por absorción atómica (AAS, por

Valores en mg/ kg	As	Pb	Hg	Sb
Molar	14.10	54.90	1.00	2.00
Fémur	60.20	930.30	8.60	7.40
Cráneo	47.50	608.40	20.40	6.30
Promedio	40.60	531.20	10.00	5.23
Blancos medidos en medios de digestión µg/ kg	0.127694	0.647897	91.089888	9.893194

○ Fig. 11 Cuadro de valores obtenidos en la medición de cuatro metales en el individuo 1 de Ranas.

<sup>2</sup> Uno de los principales métodos de análisis de muestras que se presenta con frecuencia en las bases de datos nacionales de geoquímica es la espectrometría de emisión atómica con acoplamiento de inducción de plasma, dado que

proporciona un medio rápido y preciso para el seguimiento de hasta 50 elementos menores simultáneos y niveles de trazas.

sus siglas en inglés), los tres análisis se realizaron en los laboratorios del Centro de Geociencias y el Instituto de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y para la serie de Li, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb, Sb y Hg. La metodología de la toma de muestras y procesamiento de las mismas se describe en Mejía y Herrera (2013: 54-68). Aquí se presentan los resultados de Pb, As, Hg y Sb, por su fuerte afinidad geoquímica en el contexto geológico regional (fig. 11).

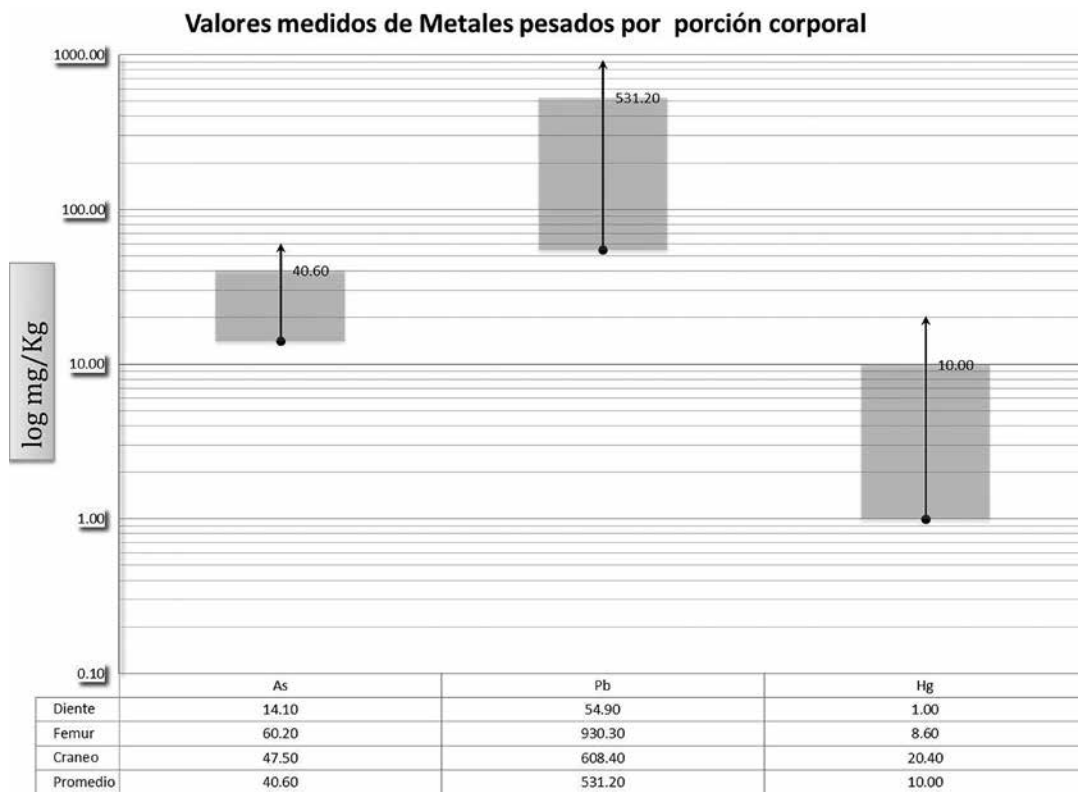
## Discusión

Rasgos destacados del individuo 1:

1. Las características osteológicas de trabajo repetitivo y de gran estrés para el cuerpo, entropatías en huesos largos de piernas, brazo, vértebras y calcáneo pueden estar relacionadas en forma directa con la minería. En el caso del minero analizado aquí, se trata del personaje principal de este contexto y aporta información en el sentido de que en su proceso de trabajo de los mineros no sólo extrajeron el cinabrio del subsuelo.
2. Existe un proceso de acumulación diferencial de los metales pesados en los huesos; por tanto, en estudios sucesivos debe especificarse la porción corporal de la muestra, ya que —como puede verse en los valores de la fig. 5— la cantidad de metal depositada en dientes es cuando menos cinco veces menor que la depositada en fémur o cráneo.
3. La medición de altos valores de metales pesados en una combinación de Pb, Hg, As y Sb indican la exposición crónica a una gran variedad de metales pesados presentes en contextos geológicos, y que de manera sistemática se depositó en los huesos.

proporciona un medio rápido y preciso para el seguimiento de hasta 50 elementos menores simultáneos y niveles de trazas.





© Fig. 12 Valores medidos de metales pesados que exceden más de diez veces el valor máximo permisible (Semarnat, 1993; WHO, 1996).

4. Esos trabajadores también se ocupaban de obtener menas<sup>3</sup> minerales como las del plomo; así, en el caso del minio, se trata de un óxido de plomo de color rojo parecido al cinabrio, pero sin su lustre adamantino; es poco abundante en la región sur de la Sierra Gorda y su extracción antigua en las minas de Guadalcázar, San Luis Potosí, está documentada en Dávila y Zaragoza (2003). En el caso del antimonio (estibnita), hay registros importantes de yacimientos en la región de Soyatal, dentro

de la misma Sierra Gorda (Langenscheidt, 1970). Las minas de galena o sulfuro de plomo, que se encuentra de forma importante en los yacimientos de San Cristóbal, Maconí y El Doctor, han sido registradas por Herrera (1994, 2012).

## Conclusiones

La diversidad de metales pesados encontrados en el presente caso permite sugerir una alta movilidad regional de los mineros en el espacio de la Sierra Gorda, ya que muchos de estos elementos se encuentran en distintos yacimientos dispersos en un vasto territorio.

Los elevados valores de Pb permiten suponer que la contaminación sistémica de este individuo es la causa de muerte. Sin embargo, resulta claro que el envenenamiento con plomo no es un pade-

<sup>3</sup> Mineral del que se puede extraer un elemento, por lo general un metal, por contenerlo en cantidad suficiente para aprovecharse de forma rentable. Todas las menas son minerales, pero no todos los minerales pueden ser menas, ya que dependen de las condiciones técnicas para su aprovechamiento; en función del grado de desarrollo y avance tecnológico de las sociedades, algunos minerales en la antigüedad eran considerados menas, pero hoy en día ya no se les toma como tales (Herrera, 2012: anexos).

cimiento deseable. Personas con severo envenenamiento de plomo tienden a mostrar grandes cambios neurológicos, como inflamación, que a su vez conlleva convulsiones y dolores de cabeza, comportamiento agresivo, pérdida de memoria a corto plazo y problemas en el centro de habla del cerebro, además de provocar anemia y estreñimiento (Doadrio, 2006; Tarrago, 2012); de ahí la relevancia del instrumento que se propone era para enemas. Pero los datos —pocos, como son— no apoyan una conclusión respecto a una elevada concentración de plomo entre toda la población. Se necesitan más investigaciones de este tipo, por supuesto, para examinar los efectos potenciales del plomo antropogénico para la población antigua.

Los niveles de As presentes en el hueso del individuo asociado al resto de metales exceden con mucho las cantidades toleradas por el organismo sin mostrar efectos adversos a la salud —manifestados en formas de anemia que se mostró en hiperostosis porótica y la criba orbitalia.

El Pb, As y Hg son minerales que geoquímicamente suelen estar asociados a las mineralizaciones hidrotermales de la Sierra Gorda, por ello no considerábamos su presencia como anómala; sin embargo, los valores medidos son tan elevados que no sorprende el hecho de que esta contaminación haya contribuido a las causas de muerte del individuo, y en la figura 6 se hace énfasis en tres de ellos por exceder los valores máximos permisibles (Semarnat, 1993; WHO, 1996).

Es claro que las comunidades mineras antiguas deben ser identificadas y estudiadas desde una perspectiva multidisciplinaria, ya que no sólo se trata de la actividad de extracción y beneficio; también debe evaluarse la bioacumulación con el impacto sobre el medio ambiente y las condiciones de salud, así como generar nuevas líneas e hipótesis de trabajo en relación con el uso y manejo de los minerales en prácticas culturales como la geofagia<sup>4</sup> y el manejo de minerales para generar o mitigar estados alterados de conciencia, ya sea

por inhalación, ingesta o contacto dérmico de los metales pesados.

No podemos soslayar el hecho de que el individuo fue enterrado con una pipa de cerámica, que deberá ser estudiada para evaluar si fue empleada para fumar algo más que tabaco.

En la arqueología mexicana se abre una nueva línea de trabajo en el estudio de las sociedades que explotan, usan y manejan minerales metálicos en la producción de sus bienes de consumo; es decir, el manejo de las materias primas pueden contribuir a la contaminación y la bioacumulación de metales —tanto en el ambiente como en el organismo—, con el consiguiente efecto sobre sus condiciones de vida.

## Bibliografía

- Abrahams, P.  
2003. Human Geophagy: A Review of its Distribution, Causes, and Implications. En H. Catherine, W. Skinner y Antony R. Berger (eds.), *Geology and Health: Closing the Gap*. Nueva York, Oxford University Press.
- Ávila, A., Mansilla, J., Bosch, P., y Pijoan, C.  
2014. Cinnabar in Mesoamerica: ¿Poisoning or Mortuary Ritual? *Journal of Archaeological Science*, 49: 48-56.
- Doadrio Villarejo, Antonio L.  
2006. Ecotoxicología y acción toxicológica del plomo. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 72: 409-422.
- Herrera Muñoz, A. J.  
2012. *Minería de cinabrio en la región de El Doctor, Querétaro, México. Una mirada desde la arqueología*. Barcelona, Editorial Académica Española.
- Herrera, A., y Mejía, E.  
2009. Ranas, Toluquilla y el mercurio. En G. Hernández (ed.), *Mercurio, hombre y naturaleza* (pp. 98-107). México, Centro de Geociencias, UNAM.
- Lagunas Rodríguez, Z., y Hernández Espinoza, O. P.  
2000. *Manual de osteología*. México, ENAH-INAH/Conaculta.

<sup>4</sup> Práctica de comer tierra o sustancias terrosas, como arcilla y creta. Este comportamiento alimentario se da en algunos animales y en seres humanos de sociedades rurales o preindustriales (Abrahams, 2003: 33).

- Lara Barajas, D. I.  
2007. "Caracterización antropofísica de algunas colecciones óseas prehispánicas del Estado de Querétaro". Archivo Centro INAH Querétaro, Querétaro.
- Mejía Pérez Campos, E.  
2010. *Toluquilla, ciudad entre nubes, ancestros y ofrendas*. Tesis de doctorado. ENAH-INAH, México.
- Mejía Pérez Campos, E., y Herrera Muñoz, J. A.  
2006. El sur de la Sierra Gorda: Ranas y Toluquilla. *Arqueología Mexicana*, 50: 68-71.
- 2013. *De las rocas a los huesos. Presencia de metales pesados en medio ambiente, sitios arqueológicos y restos óseos al sur de la Sierra Gorda*. Barcelona, Editorial Académica Española.
- 2014. Minas y mineros: presencia de metales en sedimentos y restos humanos al sur de la Sierra Gorda de Querétaro en México. *Chungara, Revista de Antropología Chilena*, 15(1): 161-176.
- Mejía Pérez Campos, E., Mejía Pérez Campos, J. M., y Herrera Muñoz, J. A.  
2015. Mercurialism Determination in Fetuses Bone Remains from Toluquilla, Queretaro, Mexico. *Journal of Scientific Research & Reports*, 8(12): 1-10. Recuperado de <http://sciencedomain.org/abstract/9857>
- Semarnat  
1993. Norma Oficial Mexicana que establece las características de los residuos peligrosos y el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. *Diario Oficial de la Federación*, 22 de octubre de 1993.
- Tarragó, O.  
2012. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Case Studies in Environmental Medicine. Lead Toxicity. Recuperado de <http://www.atsdr.cdc.gov/csem/lead>.
- World Health Organization (WHO)  
1996. *Adverse Health Effects of Heavy Metals in Children*. Recuperado de [www.who.int/ceh/capacity/heavy\\_metals.pdf](http://www.who.int/ceh/capacity/heavy_metals.pdf) en abril de 2015.

